

論文審査の結果の要旨

氏名 長澤 寛規

本論文は、バイポーラ膜電気透析法の環境技術としての確立をめざし、プロセス設計手法を構築するとともに、事例研究によりバイポーラ膜電気透析法の環境技術としての有効性を実証することを目的としたものである。プロセスのモデル化を行い、モデルによる分離性能の定量的な評価に基づくプロセス設計手法を確立するとともに、実証実験を通じてモデルを用いたプロセス設計の妥当性及びバイポーラ膜電気透析法の環境技術としての実効性について検討している。

本論文は 5 章からなる。第 1 章では静脈系マテリアルフローにおける分離操作の位置づけ、廃棄物や排出物の処理を行う静脈系の分離技術に求められる特徴について整理し、静脈系への適用に特化した分離技術の必要性について述べるとともに、静脈系分離技術として有望な手法としてバイポーラ膜電気透析法について言及している。

第 2 章ではバイポーラ膜電気透析法の技術的な特徴が整理され、静脈系分離技術として適用した際に期待される効果について述べられている。また、バイポーラ膜電気透析法の普及を推し進めるにあたっては、バイポーラ膜電気透析プロセスの分離性能を定量的に把握し、プロセスの設計を行う設計手法の体系化が必要であると述べており、そのような設計手法を確立するとともに実証実験を通じてバイポーラ膜電気透析法の静脈系分離技術としての有効性を明らかにするという本研究の目的と意義について述べている。

第 3 章では本研究で確立したバイポーラ膜電気透析プロセスの設計手法について述べている。設計手法は、バイポーラ膜電気透析プロセスを類型化し、それらの類型に応じた分離パターンを与える工程と、物質移動論に基づいて構築したバイポーラ膜電気透析モデルを用いて各分離パターンの分離性能を定量的に評価し、プロセスの具体的な設計を行う工程により構成されるものである。

本章で構築したバイポーラ膜電気透析モデルは、バイポーラ膜電気透析プロセスを構成する各要素の内部で起こる物質移動過程を表す基礎式を組み合わせることにより構築されたボトムアップ型のモデルであり、バイポーラ膜電気透析プロセスにおいてこのようなボトムアップ型のモデルを構築することはこれまでになかった試みである。本モデルでは、プロセス内を移動する成分の水溶液中での拡散係数とイオン交換膜の特性を表す最も基本的なパラメータである膜の含水率及び固定電荷密度のみを用いてバイポーラ膜電気透析プロセスの物質移動を表すことができ、プロセス設計を行う際の分離性能の簡易評価手法として利用することが可能であることが述べられている。

第 4 章では実証実験により前章で確立した設計手法の妥当性の確認を行うとともにバイポーラ膜電気透析法の静脈系分離技術としての有効性を検証した結果について述べて

いる。実証実験の具体的な対象は (1) 排ガスからの二酸化炭素分離回収, (2) ホウ素含有排水からのホウ素除去, (3) エッチング廃液からの銅回収, (4) 使用済みリチウムイオン二次電池からのリチウム及びコバルトの相互分離・回収である。

排ガスからの二酸化炭素分離回収では、二酸化炭素分離回収実験の結果と前章で構築したモデルによる数値計算結果の比較を行い、モデルの妥当性を確認し、前章で確立した設計手法によりバイポーラ膜電気透析プロセスの設計が可能であることを示している。また、実験結果から二酸化炭素分離回収に要するエネルギー及びコストを見積もった結果、既存技術である化学吸収法に比べて分離回収コストを低減できる可能性が示されている。

ホウ素含有排水からのホウ素除去では、初期条件や操作条件の影響を変化させて数値計算を行い、パラメータの影響を検証し、実験結果との比較がプロセス内の印加電圧が高い条件以外ではおおむね一致することを確認している。また、バイポーラ膜電気透析法は排水基準を達成するのに十分なホウ素除去性能を有しており、排水処理コストや二次廃棄物発生量の点で既存技術であるキレート樹脂法に比べて優位であることが示されている。

エッチング廃液からの銅回収では、高濃度の塩化銅水溶液から塩化物イオンを含まない状態で銅を回収することを試みている。銅が塩化物イオンと安定な錯体を作ることから高濃度の溶液では銅回収を行うことは困難であったが、錯体が解離する低濃度の溶液では銅回収が可能であったことから、錯体形成反応を利用することで、バイポーラ膜電気透析プロセスの分離性能を変化させることが可能であることが示されている。

使用済みリチウムイオン二次電池からのリチウム及びコバルトの相互分離では、リチウム及びコバルトを含む酸溶液からこれらの金属イオンを相互に分離回収する方法として錯体反応を利用した分離操作を提案し、コバルトと選択的に錯体を形成する EDTA を用いてコバルトを陰イオンの錯体とすることにより、リチウムとコバルトを相互に分離することに成功している。

第 5 章は本研究の結論である。

総じて、本論文の研究内容は、モデル化と実証実験の両者の検討を通じて、バイポーラ膜電気透析法が廃棄物や排出物の処理を行う静脈系の分離技術として有効な技術であることを明らかにしており、バイポーラ膜電気透析法の環境技術への応用展開に大きく貢献する内容であるとともに、博士論文としての質・量を十分に備えているものと評価する。

なお、本論文第 4 章は柳沢幸雄、山崎章弘、飯塚淳との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検討を行ったもので、論文提出者の寄与が充分であると判断する。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。